

CLIPPEDIMAGE= JP410303505A

PAT-NO: JP410303505A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10303505 A

TITLE: GALLIUM NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE  
AND ITS MANUFACTURE

PUBN-DATE: November 13, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

OKUMURA, TOSHIYUKI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

SHARP CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP09108680

APPL-DATE: April 25, 1997

INT-CL\_(IPC): H01S003/18; H01L033/00

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to uniformly apply good laser oscillation characteristics on a substrate wafer surface, by specifying the thickness of the substrate on which an active layer of quantum well structure held between nitride semiconductor clad layers and/or guide layers and consisting of a indium and gallium contained nitride semiconductor.

SOLUTION: A sapphire substrate 1 of 50 to 180  $\mu\text{m}$  in thickness is disposed on a heating element within a predetermined growth furnace. A GaN buffer layer, an Si doped n-GaN type contact layer, an Si doped n-AlGaN clad layer and an Si doped n-GaN guide layer 5 are sequentially grown on the sapphire substrate 1. Next, an InGaN quantum well layer 14, an InGaN barrier layer 15 and an InGaN quantum well layer 14 are sequentially grown, whereby an active layer 6 of

*InGa*N well/  
barrier

multiple quantum well structure is formed. Further, an AlGaIn evaporation protective layer 7 is grown.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-303505

(43)公開日 平成10年(1998)11月13日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

**識別記号**

FI

H01S 3/18

H01S 3/18

H01L 33/00

H O 1 L 33/00

**C**

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全 8 頁)

(21)出願番号

特願平9-108680

(22) 出願目

平成9年(1997)4月25日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号

(72) 発明者 奥村 敏之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ヤープ株式会社内

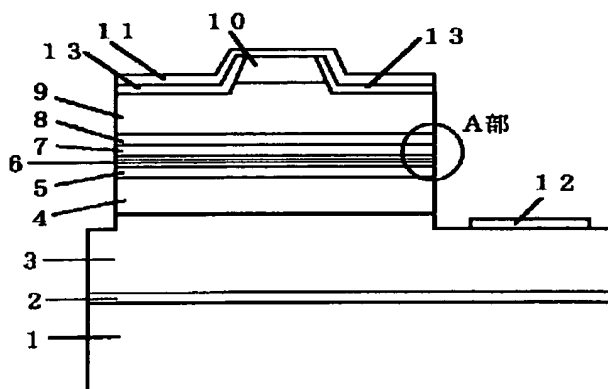
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 面内分布が小さく、かつ、良好な発光特性を有する窒化ガリウム系半導体発光素子およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際の基板の厚さを、 $50\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際の基板の厚さを、 $50\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子の製造方法。

【請求項2】 気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際の基板の厚さを $50\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下とすることにより得られた、少なくとも1層の量子井戸層を有する窒化ガリウム系半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系半導体発光素子に係り、特に、窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備えた窒化ガリウム系発光素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】紫外から緑色の波長領域での発光波長を有する半導体レーザ素子(LD)や発光ダイオード素子(LED)等の半導体材料として、窒化ガリウム系半導体( $\text{GaInAlN}$ )が用いられている。これらの発光素子を作製するための基板としてはサファイア基板、 $\text{GaAs}$ 基板、 $\text{SiC}$ 基板、 $\text{MgO}$ 基板、 $\text{Si}$ 基板、スピネル基板等が用いられており、この基板の上に有機金属気相成長法(MOCVD法)や分子線エピタキシー法(MBE法)等の気相成長法により窒化ガリウム系半導体からなる発光部を形成している。サファイア基板を用いた場合の気相成長法による窒化ガリウム系半導体を形成する際の基板の厚さとしては、例えば特開平5-166923号公報に記載されており、通常 $300\sim 500\mu\text{m}$ の厚さが用いられていた。

【0003】一方最近では、このような窒化ガリウム系半導体による発光素子の活性層として、量子井戸構造が用いられている。例えば青色LDは、Applied Physics Letters, vol. 69, No. 10, p. 1477~1479に記載されており、その断面図を図5に示す。図5において、101はサファイア基板、102はGaNバッファ層、103はn-GaNコンタクト層、104はn- $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層、105はn- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラッド層、106はn-GaNガイド層、107は $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層とからなる多重量子井戸構造活性層、108はp- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層、109はp-GaNガイド層、110はp- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラッド層、111はp-GaNコンタクト層、112はp側電極、113はn側電極、114はS

iO<sub>2</sub>絶縁膜である。ここで、多重量子井戸構造活性層107は、3nm厚の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層が5層、6nm厚の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層が4層、の合計9層で構成され、量子井戸層と障壁層が交互に形成されている。またこれらの結晶成長時の温度は、GaNバッファ層102が $510^\circ\text{C}$ 、多重量子井戸構造活性層107が $830^\circ\text{C}$ 、これら以外の各層は $1020^\circ\text{C}$ である。この他、特開平8-316528号公報にも同様に量子井戸構造活性層を有する窒化ガリウム系半導体を用いた青色LDが記載されているが、これらはいずれも結晶成長時における基板の厚さについては特にこだわらずに作成されていた。

【0004】また青色LEDは、例えば、上記の特開平8-316528号公報に記載されており、その断面図を図6に示す。図6において、121はサファイア基板、122はGaNバッファ層、123はn-GaNコンタクト層、124はn- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 第2n型クラッド層、125はn- $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{GaN}$ 第1n型クラッド層、126は3nm厚の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 単一量子井戸構造活性層、127はp- $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{GaN}$ 第1p型クラッド層、128はp- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 第2p型クラッド層、129はp-GaNコンタクト層、130はp側電極、131はn側電極ある。これらの結晶成長時の温度は、GaNバッファ層122が $500^\circ\text{C}$ 、単一量子井戸構造活性層126が $800^\circ\text{C}$ 、これら以外の各層は $1050^\circ\text{C}$ である。このような青色LEDにおいても、結晶成長時における基板の厚さについては特にこだわらず作成されていた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、量子井戸構造活性層を用いた従来の青色LD及び青色LED素子には、結晶成長時に用いた基板ウェハの面内での発光特性の分布が非常に大きいという問題点があった。すなわち青色LDでは発振波長が基板ウェハの中心部分と周辺部分で大きく異なり、所望の発振波長を得るための歩留まりが大きく低下してしまう。例えば直径2インチのサファイア基板を使用した場合、発振波長は基板ウェハの中心部と周辺部とで $150\text{nm}$ もの違いを生じていた。さらに、従来の青色LDは発振閾値電流値が $100\text{mA}$ 以上と高く、光ディスク等の情報処理用として実用に供するためには大幅に発振閾値電流値を低減する必要があった。

【0006】また、青色LEDに関してはすでに実用化されているものの、やはり青色LDと同様に発光波長が基板ウェハの中心部分と周辺部分で大きく異なり、所望の発光波長を得るための歩留まりが大きく低下してしまうという問題がある。LEDを用いた大型のフルカラーディスプレイのように、同一の発光波長を有するLEDを大量に必要とするような用途の場合、発光波長の面内分布が大きいことにより青色LEDの歩留まりが低下

してしまうと、フルカラーディスプレイのコストの増大につながってしまう。このため、歩留まりよく同一の発光波長で作製できる青色LEDの実現が望まれていた。

【0007】本発明は以上のような事情に鑑みてなされたものであり、上記窒化ガリウム系半導体発光素子における課題を解決して、基板ウェハ一面内において均一で良好なレーザ発振特性を有する半導体レーザ素子とその製造方法、及び、基板ウェハ一面内で発光波長が均一な発光ダイオード素子とその製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明に係る窒化ガリウム系半導体発光素子は、気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際の基板の厚さを、 $50\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下とすることにより製造される。

【0009】このような本発明を見い出すにあたって、本発明者は従来素子における前記課題の原因について詳細に調査を行い、その結果、量子井戸層を形成する際の結晶成長時における基板ウェハの面内での表面温度の分布により、基板ウェハの面内での発光の特性の分布が生じていることが判明した。すなわち、窒化ガリウム系半導体発光素子において量子井戸層として用いられるInGa<sub>N</sub>材料は、InGa<sub>N</sub>が形成される基板表面の温度によってIn組成が大きく変化する。特にInGa<sub>N</sub>の結晶成長を開始した直後は、基板表面の温度によるIn組成の変化が大きくなっている。従って、層厚が非常に薄い量子井戸層をInGa<sub>N</sub>で形成する場合は、InGa<sub>N</sub>の結晶成長を開始した直後の影響が大きくなり、基板表面温度が低下すると急激にIn組成が大きくなってしまうことがわかった。InGa<sub>N</sub>材料においてはIn組成によって発光波長が変化するため、In組成が大きくなると発光波長は長波長化してしまう。

【0010】さらに、基板ウェハ一面内での表面温度の分布は、結晶成長時の基板の反りによる不均一な熱伝導が影響していることが判明した。窒化ガリウム系半導体の結晶成長では基板ウェハの温度を $500^{\circ}\text{C}$ ～ $1100^{\circ}\text{C}$ に上昇して結晶成長を行っているが、基板の温度を上昇するには基板の底面に接した発熱体からの熱伝導により基板の温度を上昇させている。この場合、基板の厚さが $180\mu\text{m}$ 以上である従来の窒化ガリウム系半導体発光素子では、基板が厚いために基板の底面と表面とで温度差が生じ、底面の方が表面よりも温度が高くなる。その結果、基板の底面は表面に比べて熱膨張が大きくなり、図7に示されるように基板ウェハ150が反ってしまい、中心部のみが発熱体151に接して周辺部が発熱体151から離れた状態になってしまう。従って、周辺部へは発熱体151からの熱が伝わりにくくなり、中

心部に比べて周辺部の温度は低くなっている。このためInGa<sub>N</sub>を結晶成長した際に周辺部ではIn組成が大きくなり、基板ウェハ150の面内での発光特性の分布を引き起こしていた。

【0011】すなわち、青色LDでは発振波長がInGa<sub>N</sub>量子井戸構造活性層のIn組成で決まるために、基板ウェハの中心部分と周辺部分でIn組成が異なることによって発振波長が大きく異なり、所望の発振波長を得るための歩留まりが大きく低下してしまっていた。さらに、1個の青色LD素子の共振器構造の内部でもInGa<sub>N</sub>量子井戸層のIn組成に分布が生じているため、一定の発光波長で得られる光利得が小さくなって、発振閾値電流を増大させていた。一方、青色LEDに関しても青色LDと同様に発光波長が基板ウェハの中心部分と周辺部分で大きく異なり、所望の発光波長を得るための歩留まりが大きく低下してしまっていた。

【0012】従って本発明では、気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際のサファイア基板の厚さを、 $50\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下と薄くすることにより、InGa<sub>N</sub>を結晶成長する際の基板の底面と表面との温度差が無くなり、結晶成長時における基板ウェハの反りが抑えられることによって基板ウェハは底面全体で発熱体と接することになるため、基板ウェハ一面内での表面温度の分布が抑えられた。これによりInGa<sub>N</sub>量子井戸層におけるIn組成の分布が低減できた。

【0013】以上の結果、InGa<sub>N</sub>量子井戸構造活性層からの発光特性の分布が改善され、基板ウェハ一面内において発振波長が均一で発振閾値電流値が低い窒化ガリウム系半導体レーザ素子と、基板ウェハ一面内で発光波長が均一な窒化ガリウム系発光ダイオード素子が実現された。

【0014】

【発明の実施の形態】

（発明の実施の形態1）図1は本発明の第1の実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す断面図であり、図2は図1中のA部を拡大した断面図である。この図において、1はc面を表面として有し厚さが $150\mu\text{m}$ 、直径が2インチであるサファイア基板、2はGa<sub>N</sub>バッファ層、3はn-Ga<sub>N</sub>n型コンタクト層、4はn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nn型クラッド層、5はn-Ga<sub>N</sub>ガイド層、6は2層のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層14と1層のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層15とからなる多重量子井戸構造活性層、7はAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層、8はp-Ga<sub>N</sub>ガイド層、9はp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層、10はp-Ga<sub>N</sub>p型コンタクト層、11はp側電極、12はn側電極、13はSiO<sub>2</sub>絶縁膜である。

【0015】本実施例において、サファイア基板1の厚さを150 $\mu$ mとしたが、50 $\mu$ mから180 $\mu$ mの間であればこの厚さにこだわらない。また基板の表面はa面、r面、m面等の他の面方位であっても構わない。また、サファイア基板に限らずSiC基板・スピネル基板・MgO基板・Si基板・GaAs基板も用いることが出来る。特にSiC基板の場合はサファイア基板に比べて劈開しやすいため、劈開によるレーザ共振器端面の形成が容易であるという利点がある。バッファ層2はその上に窒化ガリウム系半導体をエピタキシャル成長させることが出来るものであればGa<sub>0.9</sub>Nにこだわらず他の材料、例えばAl<sub>0.1</sub>NやAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N3元混晶を用いてもよい。

【0016】n型クラッド層4及びp型クラッド層9は、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N以外のAl組成を持つAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N3元混晶でもよい。この場合Al組成を大きくすると活性層とクラッド層とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光が活性層に有効に閉じ込められてさらに発振閾値電流の低減及び、温度特性の向上が図れる。またキャリアや光の閉じ込めが保持される程度でAl組成を小さくしていくと、クラッド層におけるキャリアの移動度が大きくなるため、半導体レーザ素子の素子抵抗を小さくできる利点がある。さらにこれらのクラッド層は微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよく、n型クラッド層4とp型クラッド層9とで混晶の組成が同一でなくても構わない。

【0017】ガイド層5と8は、そのエネルギーギャップが、多重量子井戸構造活性層6を構成する量子井戸層のエネルギーギャップとクラッド層4と9のエネルギーギャップの間の値を持つような材料であればGa<sub>0.9</sub>Nにこだわらず他の材料、例えばInGa<sub>0.9</sub>NやAlGa<sub>0.9</sub>N等の3元混晶やInGa<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N4元混晶等を用いてもよい。またガイド層全体にわたってドナー又はアクセプターをドーピングする必要はなく、多重量子井戸構造活性層6側の一部のみをノンドープとしてもよく、さらにはガイド層全体をノンドープとしてもよい。この場合、ガイド層に存在するキャリアが少なくなり、自由キャリアによる光の吸収が低減されて、さらに発振閾値電流が低減できるという利点がある。

【0018】多重量子井戸構造活性層6を構成する2層のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層14と1層のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層15は、必要なレーザ発振波長に応じてその組成を設定すればよく、発振波長を長くしたい場合は量子井戸層14のIn組成を大きくし、短くしたい場合は量子井戸層14のIn組成を小さくする。また量子井戸層14と障壁層15は、InGa<sub>0.9</sub>N3元混晶に微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよい。さらに障壁層15は単にGa<sub>0.9</sub>Nを用いてもよい。

【0019】次に、図1と図2を参照して上記窒化ガリウム系半導体レーザの作製方法を説明する。以下の説明

ではMOCVD法(有機金属気相成長法)を用いた場合を示しているが、Ga<sub>0.9</sub>Nをエピタキシャル成長できる成長法であればよく、MBE法(分子線エピタキシャル成長法)やHDVPE(ハイドライド気相成長法)等の他の気相成長法を用いることもできる。

【0020】まず従来用いられていたc面を表面として有し厚さが300 $\mu$ m以上で直径が2インチであるサファイア基板の裏面を研磨して、厚さ150 $\mu$ mのサファイア基板1とした。続いて、所定の成長炉内の発熱体上に設置された、前記サファイア基板1上に、トリメチルガリウム(TM<sub>0.9</sub>G)とアンモニア(NH<sub>3</sub>)を原料に用いて、成長温度600℃でGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層2を35nm成長させる。

【0021】次に成長温度を1050℃まで上昇させて、TMGとNH<sub>3</sub>、及びシランガス(SiH<sub>4</sub>)を原料に用いて、厚さ3 $\mu$ mのSiドープn-Ga<sub>0.9</sub>N型コンタクト層3を成長する。さらに続けてトリメチルアルミニウム(TMA)を原料に加え、成長温度は1050℃のまま厚さ0.7 $\mu$ mのSiドープn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層4を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のまま厚さ0.05 $\mu$ mのSiドープn-Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層5を成長する。

【0022】次に、成長温度を800℃に下げ、TMGとNH<sub>3</sub>、及びトリメチルインジウム(TMI)を原料に用いて、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層(厚さ5nm)14、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層(厚さ5nm)15、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層(厚さ5nm)14を順次成長することにより多重量子井戸構造活性層(トータルの厚さ15nm)6を作成する。さらに続けてTMGとTMAとNH<sub>3</sub>を原料に用いて、成長温度は800℃のまま厚さ10nmのAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層7を成長する。

【0023】次に、再び成長温度を1050℃に上昇して、TMGとNH<sub>3</sub>、及びシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を原料に用いて、厚さ0.05 $\mu$ mのMgドープp-Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層8を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は1050℃のまま厚さ0.7 $\mu$ mのMgドープp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層9を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のまま厚さ0.2 $\mu$ mのMgドープp-Ga<sub>0.9</sub>Np型コンタクト層10を成長して、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハーを完成する。

【0024】その後、このウエハーを800℃の窒素ガス雰囲気中でアニールして、Mgドープのp型層を低抵抗化する。

【0025】さらに通常のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、200 $\mu$ m幅のストライプ状にp-Ga<sub>0.9</sub>Np型コンタクト層10の最表面から、n

-Ga<sub>0.9</sub>Nn型コンタクト層3が露出するまでエッチングを行う。次に、上記と同様のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、残ったp-GaNp型コンタクト層10の最表面に、5μm幅のストライプ状にリッジ構造を形成するようにp-GaNp型コンタクト層10とp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層9をエッチングする。

【0026】続いて、リッジの側面とリッジ以外のp型層表面に厚さ200nmのSiO<sub>2</sub>絶縁膜13を形成する。このSiO<sub>2</sub>絶縁膜13とp-GaNp型コンタクト層10の表面にニッケルと金からなるp側電極11を形成し、エッチングにより露出したn-GaNn型コンタクト層3の表面にチタンとアルミニウムからなるn側電極12を形成して、窒化ガリウム系LDウエハーを完成する。

【0027】その後、このウエハーをリッジストライプに垂直な方向に劈開してレーザの共振器端面を形成し、さらに個々のチップに分割する。そして、各チップをシステムにマウントし、ワイヤーボンディングにより各電極とリード端子とを接続して、窒化ガリウム系半導体レーザ素子を完成する。

【0028】以上のようにして作製された青色LD素子は、発振波長430nm、発振閾値電流40mAというレーザ特性が得られた。また、基板ウエハー面内での発振波長の分布は小さくなり、ウェハーの中心部と周辺部とで従来150nmあった発振波長の違いは10nmにまで低減された。このように本発明により、InGa<sub>0.9</sub>N量子井戸活性層からの発光特性の分布が改善され、基板ウェハー面内において発振波長が均一で発振閾値電流値が低い窒化ガリウム系半導体レーザ素子が実現できた。

【0029】図3には、窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、直径が2インチであるサファイア基板の厚さによる、ウェハーの中心部と周辺部とでの発振波長の違いの大きさの変化、及び、発振閾値電流値の変化を表すグラフ図が示されている。各半導体レーザの構造は、結晶成長時におけるサファイア基板の厚さが異なること以外は本発明の第1の実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子と同じである。この図からわかるように、結晶成長時におけるサファイア基板の厚さが180μmを越えると、発振波長の面内分布が急速に増大し、発振閾値電流値も高くなっている。従って、ウェハー面内において発光波長が均一であり、かつ低い発振閾値電流値を得ることが出来るのは、結晶成長時におけるサファイア基板の厚さが50μm以上180μm以下である本発明の第1の実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のみである。なお基板の厚さを50μm以下とすると、基板の機械的強度が低下するため割れやすくなり、基板とその基板上に形成された窒化ガリウム系半導体との熱膨張係数に違いがあるため、500℃~1100℃の温度で結晶成長を行った後、室温まで温度を下げる際

に基板が反って破損してしまった。

【0030】なお、本実施例では、多重量子井戸構造活性層6を構成する量子井戸層14の層を2層としたが、3層以上の多重量子井戸構造でもよく、1層のみの単一量子井戸構造でもよい。さらに、本実施例では、量子井戸層14と障壁層15の層厚をとともに5nmとしたが、これらの層厚が同一である必要はなく、異なっても構わない。また量子井戸層の層厚も本実施例にこだわらない。

【0031】また本実施例では、多重量子井戸構造活性層6に接するようにAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層7を形成しているが、これは量子井戸層14が成長温度を上昇している間に蒸発してしまうことを防ぐためである。従って、量子井戸層14を保護するものであれば蒸発防止層7として用いることができ、他のAl組成を有するAlGa<sub>0.3</sub>N3元混晶やGa<sub>0.9</sub>Nを用いてもよい。また、この蒸発防止層7にMgをドーピングしてもよく、この場合はp-GaNガイド層8やp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層9から正孔が注入され易くなるという利点がある。さらに、量子井戸層14のIn組成が小さい場合は蒸発防止層7を形成しなくても量子井戸層14は蒸発しないため、特に蒸発防止層7を形成しなくても、本実施例の窒化ガリウム系半導体レーザ素子の特性は損なわれない。

【0032】本実施例では、リッジストライプ構造を形成して注入電流の狭窄を行っているが、電極ストライプ構造等の他の電流狭窄の手法を用いてもよい。また、本実施例では劈開によりレーザの共振器端面を形成しているが、ドライエッチングにより共振器端面を形成することもできる。

【0033】さらに本実施例ではサファイア基板を用いたため、エッチングにより露出したn-GaNn型コンタクト層3の表面にn側電極12を形成しているが、n型導電性を有するSiC基板、Si基板、GaAs基板等を結晶成長時の基板に用いれば、この基板の裏面にn側電極12を形成してもよい。また、p型とn型の構成を逆にしても構わない。

【0034】(発明の実施の形態2)図4は本発明の第2の実施例に係る窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子を示す断面図である。この図において、21はc面を表面として有し厚さが100μm、直径が2インチであるサファイア基板、22はGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層、23はn-GaNn型コンタクト層、24はn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nn型クラッド層、25はn-GaNガイド層、26はIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層からなる単一量子井戸構造活性層、27はAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層、28はp-GaNガイド層、29はp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層、30はp-GaNp型コンタクト層、31はp側電極、32はn側電極である。

【0035】本実施例において、サファイア基板21の

厚さを100 $\mu$ mとしたが、50 $\mu$ mから180 $\mu$ mの間であればこの厚さにこだわらない。また基板の表面はa面、r面、m面等の他の面方位であっても構わない。また、サファイア基板に限らずSiC基板・スピネル基板・MgO基板・Si基板・GaAs基板も用いることが出来る。特にSiC基板の場合はサファイア基板に比べて劈開しやすいため、LED素子のチップへの分割が容易であるという利点がある。バッファ層22はその上に窒化ガリウム系半導体をエピタキシャル成長させることが出来るものであればGa<sub>0.9</sub>Nにこだわらず他の材料、例えばAlNやAlGa<sub>0.9</sub>N3元混晶を用いてもよい。

【0036】n型クラッド層24及びp型クラッド層29は、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N以外のAl組成を持つAlGa<sub>0.9</sub>N3元混晶や、単にGa<sub>0.9</sub>Nを用いてもよい。この場合Al組成を大きくすると活性層とクラッド層とのエネルギーギャップ差が大きくなり、キャリアが活性層に有効に閉じ込められて温度特性の向上が図れる。またキャリアの閉じ込めが保持される程度でAl組成を小さくしていくと、クラッド層におけるキャリアの移動度が大きくなるため、発光ダイオード素子の素子抵抗を小さくできる利点がある。さらにこれらのクラッド層は微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよく、n型クラッド層24とp型クラッド層29とで混晶の組成が同一でなくても構わない。

【0037】ガイド層25と28は、そのエネルギーギャップが、単一量子井戸構造活性層26を構成する量子井戸層のエネルギーギャップとクラッド層24と29のエネルギーギャップの間の値を持つような材料であればGa<sub>0.9</sub>Nにこだわらず他の材料、例えばInGa<sub>0.9</sub>N・AlGa<sub>0.9</sub>N3元混晶やInGaAlN4元混晶等を用いてもよい。またガイド層全体にわたってドナー又はアクセプターをドーピングする必要はなく、単一量子井戸構造活性層26側の一部のみをノンドープとしてもよく、さらにはガイド層全体をノンドープとしてもよい。この場合、ガイド層に存在するキャリアが少なくなり、自由キャリアによる光の吸収が低減されて、さらに光出力が向上するという利点がある。また、ガイド層25と28には、n型クラッド層24とp型クラッド層29からそれぞれ電子と正孔を単一量子井戸構造活性層26へ注入しやすくするという利点があるが、特にガイド層25と28を設けなくてもLED素子特性が大きく悪化することはないので、ガイド層25と28はなくても構わない。

【0038】単一量子井戸構造活性層26を構成するIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層は、必要な発光波長に応じてその組成を設定すればよく、発光波長を長くしたい場合は量子井戸層26のIn組成を大きくし、短くしたい場合は量子井戸層26のIn組成を小さくする。また量子井戸層26は、InGa<sub>0.9</sub>N3元混晶に微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよい。

【0039】次に、図4を参照して上記窒化ガリウム系

半導体発光ダイオードの作製方法を説明する。以下の説明ではMOCVD法(有機金属気相成長法)を用いた場合を示しているが、Ga<sub>0.9</sub>Nをエピタキシャル成長できる成長法であればよく、MBE法(分子線エピタキシャル成長法)やHDVPE(ハイドライド気相成長法)等の他の気相成長法を用いることもできる。

【0040】まず従来用いられていたc面を表面として有し厚さが300 $\mu$ m以上で直径が2インチであるサファイア基板の裏面を研磨して、厚さ100 $\mu$ mのサファイア基板21とした。続いて、所定の成長炉内の発熱体上に設置された、前記サファイア基板21上に、TMGとNH<sub>3</sub>を原料に用いて、成長温度600℃でGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層22を35nm成長させる。

【0041】次に成長温度を1050℃まで上昇させて、TMGとNH<sub>3</sub>、及びSiH<sub>4</sub>を原料に用いて、厚さ3 $\mu$ mのSiドープn-Ga<sub>0.9</sub>N型コンタクト層23を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は1050℃のままで厚さ0.3 $\mu$ mのSiドープn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層24を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のままで厚さ0.05 $\mu$ mのSiドープn-Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層25を成長する。

【0042】次に、成長温度を800℃に下げ、TMGとNH<sub>3</sub>、及びTMIを原料に用いて、厚さ3nmのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層からなる単一量子井戸構造活性層26を作成する。さらに続けてTMGとTMAとNH<sub>3</sub>を原料に用いて、成長温度は800℃のままで厚さ10nmのAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層27を成長する。

【0043】次に、再び成長温度を1050℃に上昇して、TMGとNH<sub>3</sub>、及びCp<sub>2</sub>Mgを原料に用いて、厚さ0.05 $\mu$ mのMgドープp-Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層28を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は1050℃のままで厚さ0.3 $\mu$ mのMgドープp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層29を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のままで厚さ0.2 $\mu$ mのMgドープp-Ga<sub>0.9</sub>Np型コンタクト層30を成長して、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハーを完成する。

【0044】その後、このウエハーを800℃の窒素ガス雰囲気中でアニールして、Mgドープのp型層を低抵抗化する。

【0045】さらに通常のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、LED素子作製のために所定の領域に、p-Ga<sub>0.9</sub>Np型コンタクト層30の最表面から、n-Ga<sub>0.9</sub>N型コンタクト層23が露出するまでエッチングを行う。

【0046】続いて、p-Ga<sub>0.9</sub>Np型コンタクト層30の表面にニッケルと金からなるp側電極31を形成し、エッチングにより露出したn-Ga<sub>0.9</sub>N型コンタクト層

10

20

30

40

50



## 1 1

23の表面にチタンとアルミニウムからなるn側電極32を形成して、窒化ガリウム系LEDウエハーを完成する。

【0047】その後、このウエハーを個々のチップに分割する。そして、各チップをステムにマウントし、ワイヤーボンディングにより各電極とリード端子とを接続して、窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子を完成する。

【0048】以上のようにして作製された青色LED素子は、順方向電流20mAで、発光波長430nm・光出力4mWという発光特性が得られた。また、実施例1と同様に、基板ウエハー面内での発光波長の分布は小さくなり、ウエハーの中心部と周辺部とで従来150nmあった発光波長の違いは8nmにまで低減された。このように本発明により、InGaIn量子井戸活性層からの発光特性の分布が改善され、基板ウエハー面内において均一な発光波長を有する窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子が実現できた。

【0049】なお、本実施例では、単一量子井戸構造活性層26を構成するIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層の層数を1とし層厚を3nmとしたが、2層以上の多重量子井戸構造活性層でもよく、量子井戸層の層厚も本実施例にこだわらない。

【0050】また本実施例では、単一量子井戸構造活性層26に接するようにAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層27を形成しているが、これは量子井戸層26が成長温度を上昇している間に蒸発してしまうことを防ぐためである。従って、量子井戸層26を保護するものであれば蒸発防止層27として用いることができ、他のAl組成を有するAlGaIn3元混晶やGaInを用いてもよい。また、この蒸発防止層27にMgをドーピングしてもよく、この場合はp-GaNガイド層28やp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層29から正孔が注入され易くなるという利点がある。さらに、量子井戸層26のIn組成が小さい場合は蒸発防止層27を形成しなくても量子井戸層26は蒸発しないため、特に蒸発防止層27を形成しなくても、本実施例の窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子の特性は損なわれない。

【0051】

【発明の効果】上述したように本発明による窒化ガリウム系半導体発光素子においては、気相成長法により、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体からなる量子井戸構造活性層を形成する際の基板の厚さを、50μm以上180μm以下と薄くすることにより、InGaInを結晶成長する際の基板の底面と表

## 1 2

面との温度差が無くなり、結晶成長時における基板ウエハーの反りが抑えられることによって基板ウエハーは底面全体で発熱体と接することになるため、基板ウエハー面内での表面温度の分布が抑えられた。これによりInGaIn量子井戸層におけるIn組成の分布が低減できた。

【0052】その結果、InGaIn量子井戸活性層からの発光特性の分布が改善され、基板ウエハー面内において発振波長が均一で発振閾値電流値が低い窒化ガリウム系半導体レーザ素子と、基板ウエハー面内で発光波長が均一な窒化ガリウム系発光ダイオード素子が実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザ素子を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザ素子のA部を拡大した断面図である。

【図3】窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、ウエハーの中心部と周辺部とでの発振波長の違いの大きさのサファイア基板の厚さ依存性、及び、発振閾値電流値のサファイア基板の厚さ依存性を表すグラフ図である。

【図4】本発明の第2の実施例に係る半導体発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図5】窒化ガリウム系半導体を用いた従来の青色LEDの断面図である。

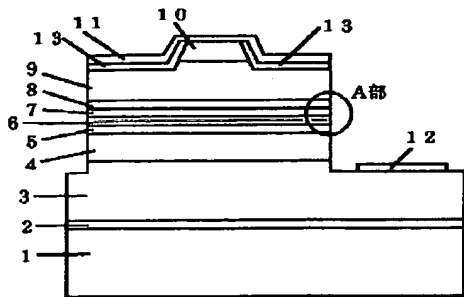
【図6】窒化ガリウム系半導体を用いた従来の青色LEDの断面図である。

【図7】発熱体上に設置された従来の基板ウエハーの温度を上昇したときの、基板の反りを示す図である。

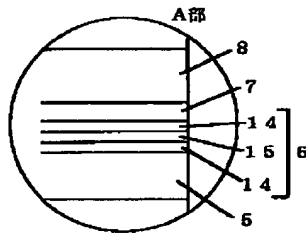
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 GaNバッファ層
- 3 n-GaN型コンタクト層
- 4 n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層
- 5 n-GaNガイド層
- 6 多重量子井戸構造活性層
- 7 Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層
- 8 p-GaNガイド層
- 9 p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層
- 10 p-GaN型コンタクト層
- 11 p側電極
- 12 n側電極
- 13 SiO<sub>2</sub>絶縁膜
- 14 In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層
- 15 In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層

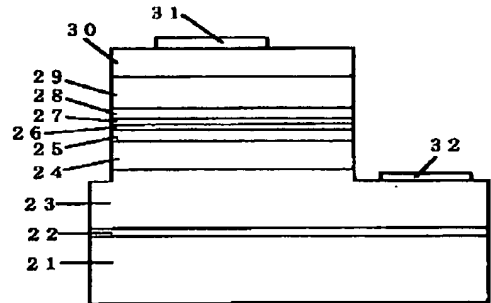
【図1】



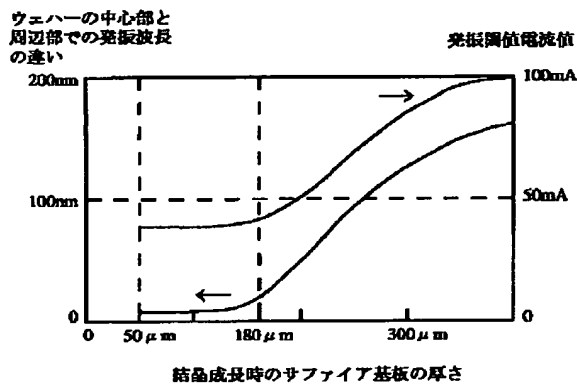
【図2】



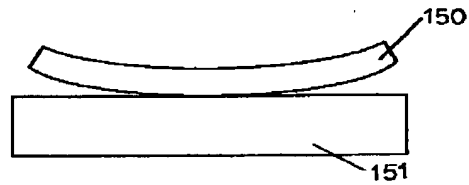
【図4】



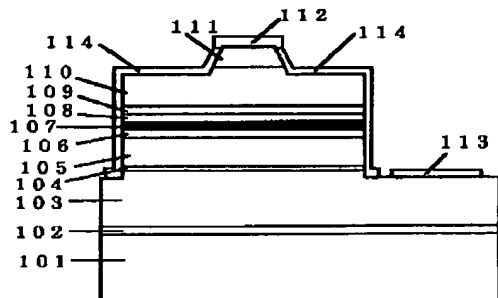
【図3】



【図7】



【図5】



【図6】

